

**10/563890**

**IAP20 Rec'd PCT/PTO 09 JAN 2006**

1

## Beschreibung

Mit akustischen Wellen arbeitender Wandler mit Unterdrückung transversaler Moden

5

Die Erfindung betrifft einen mit akustischen Oberflächenwellen arbeitenden Wandler bzw. Bauelement (Surface Acoustic Wave Bauelement, SAW-Bauelement), in dem störende transversale Wellenmoden unterdrückt werden. SAW-Bauelemente werden insbesondere als Filter in tragbaren Mobilfunkgeräten eingesetzt.

10

Bekannte SAW-Bauelemente umfassen stets ein piezoelektrisches Substrat, auf dessen Oberfläche eine akustische Spur mit darin angeordneten Bauelement-Strukturen, z. B. Interdigital-Wandlern und Reflektoren, vorgesehen ist. In den Interdigital-Wandlern erfolgt die Umwandlung eines elektrischen Signals in eine akustische Welle und umgekehrt.

15

Die akustische Welle breitet sich entsprechend der meist periodischen Anordnung der Elektrodenfinger der Wandler hauptsächlich in beide longitudinale Richtungen aus. Bekannt sind auch in rekursiven Filtern verwendete Wandler mit bevorzugter Abstrahlung der angeregten akustischen Welle in nur eine longitudinale Richtung. Bei der Ausbreitung der akustischen Welle entstehen im Randbereich des Wandlers Beugungsverluste durch die Abstrahlung eines Teils der Oberflächenwelle in transversaler Richtung.

20

25

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der angeregten akustischen Oberflächenwelle in der akustischen Spur - SAW-Spur - wird bei den meisten piezoelektrischen Substraten mit normaler Dispersion, z. B. Quarz,  $\text{LiNbO}_3$ , YZ, durch die Metallisierung der Substratoberfläche - verglichen mit freier Substratoberfläche - verringert. Dadurch wirkt eine SAW-Spur oder mehrere elektrisch miteinander verbundene SAW-Spuren zusammen mit den angrenzenden Außenbereichen der Substratoberfläche in

30

35

## 2

transversaler Richtung als Wellenleiter. Im Wellenleiter sind transversale Wellenmoden - Grundmode und höhere Moden - anregbar, wobei die höheren Moden oft zu unerwünschten Resonanzen im Sperrbereich oder oberen Durchlaßbereich des SAW-Bauelements beitragen und damit einen Teil der Energie der Welle unzweckmäßig verbrauchen. Diese Resonanzen führen insbesondere zu unerwünschter Welligkeit des Durchlaßbereichs und machen sich darüber hinaus in einer erhöhten Einfügedämpfung des Bauelements und störenden Peaks im Frequenzgang der Gruppenlaufzeit bemerkbar. Darunter leiden die Filtereigenschaften des Bauelements.

In bisher bekannten Methoden zur Unterdrückung störender transversaler Moden versucht man, das transversale Anregungsprofil eines elektroakustischen Wandlers so anzupassen, daß die Einkopplung des elektrischen Signals möglichst nur die transversale akustische Grundmode erfolgt.

Beispielsweise ist es möglich, die transversale Länge des Überlappungsbereich zweier nebeneinander angeordneter Elektrodenfinger eines anregenden Fingerpaares in der akustischen Spur in longitudinaler Richtung so zu variieren, daß die Einkopplung des elektrischen Signals in die transversale Grundmode verbessert wird. Die entsprechende Methode beruht also auf einer Überlappungswichtung und ist z. B. aus der Druckschrift W. Tanski, Proc. 1979 IEEE Ultrasonic Symposium pp. 815-823 bekannt.

Alternativ ist es möglich, unter Beibehaltung des Abstands zwischen einander gegenüberliegenden Sammelschienen zweier Elektroden eines Wandlers die Länge der inaktiven Elektrodenfinger, die auch Stummelfinger genannt werden und in transversaler Richtung den anregenden Elektrodenfingern gegenüberstehen, zu vergrößern und gleichzeitig die Länge des Überlappungsbereichs eines anregenden Fingerpaares entsprechend zu verkleinern. Die Anregung höherer transversaler Wellenmoden

3

läßt sich auf diese Weise nur in einem begrenzten Maße vermeiden.

Eine weitere bekannte Methode zur Unterdrückung höherer transversaler Moden bzw. zur Anpassung des Anregungsprofils eines Wandlers an die Form der transversalen Grundmode ist z. B. aus der Druckschrift DE 196 38 398 C2 bekannt. Eine akustische Spur wird in mehrere Teilspuren aufgeteilt, wobei alle Teilspuren zur Anregung der akustischen Welle beitragen. Bei N zu unterdrückenden Wellenleiter-Moden wählt man eine Unterteilung der akustischen Spur in N Teilspuren, wobei das Anregungsprofil durch die Einstellung der Spurbreiten und/oder des Vorzeichens der Anregung in den jeweiligen Teilspuren an die Form der transversalen Grundmode so angepaßt werden kann, daß die höheren transversalen Moden unterdrückt werden. Ein Nachteil dieser Methode liegt darin, daß die Spurunterteilung von der genauen Zahl der zu unterdrückenden Wellenleitermoden abhängig und daher auch das Design des Bauelements aufwendig ist.

20

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen mit akustischen Oberflächenwellen arbeitenden Wandler anzugeben, in dem störende transversale Moden unterdrückt werden.

25 Die Erfindung gibt einen mit akustischen Oberflächenwellen arbeitenden Wandler an, der eine akustische Spur und in der akustischen Spur angeordnete Bauelement-Strukturen, insbesondere ineinander greifende Elektrodenfinger einer ersten und einer zweiten Elektrode, aufweist. Die akustische Spur bzw. die entsprechenden Bauelement-Strukturen sind auf  
30 einem piezoelektrischen Substrat angeordnet. In der akustischen Spur ist eine akustische Welle anregbar, die durch eine transversale Grundmode charakterisiert ist. Die transversale Grundmode ergibt sich aus dem transversalen Geschwindigkeitsprofil eines Wellenleiters, der durch die  
35 akustische Spur und die an sie angrenzenden transversalen Außenbereiche gebildet ist, wobei die meiste Energie der

4

akustischen Welle in der akustischen Spur konzentriert ist. Der Außenbereich ist ein an die akustische Spur angrenzender nicht anregender Bereich des Substrats, in dem die Amplitude der akustischen Welle in transversaler Richtung an der Grenze  
5 zum entsprechenden Randbereich auf einen Bruchteil (z. B. auf ein Zehntel) ihres maximalen Wertes abgeklungen ist. Die Amplitude der Welle fällt im Außenbereich in der von der Spur abgewandten transversalen Richtung exponentiell ab.

10 Die Auslenkung der eingekoppelten akustischen Welle wird ferner als Anregungsstärke bezeichnet. Die akustische Spur ist durch die Anregungsstärke (in longitudinaler oder transversaler Richtung) charakterisiert. Die Anregungsstärke ist proportional zum Potentialunterschied  $\Delta U$  zwischen den in  
15 longitudinaler Richtung nebeneinander angeordneten Elektrodenfingern unterschiedlicher Elektroden, die zusammen ein anregendes Fingerpaar bilden. Die Anregungsstärke in Abhängigkeit von der transversalen Koordinate  $Y$  wird hier als Anregungsprofil  $\Psi_y$  bezeichnet.

20

Im so gebildeten Wellenleiter sind mehrere transversale Moden (Grundmode und ihre Harmonischen) der akustischen Welle anregbar bzw. ausbreitungsfähig. Dabei wird die maximale Einkopplung des elektrischen Signals bei einer bestimmten  
25 Frequenz in die Grundmode der akustischen Welle erzielt, wenn die akustische Spur in transversaler Richtung so ausgebildet ist, daß das entsprechende transversale Anregungsprofil  $\Psi_y$  der Welle an die Form  $\Phi_y$  der Grundmode angepaßt ist, wobei als Kriterium für die Anpassung die Beziehung

30 
$$\int \Psi_y \Phi_y dy / \sqrt{\int \Psi_y^2 dy \cdot \int \Phi_y^2 dy} \geq \alpha$$

dienen kann, wobei z. B.  $\alpha = 0,9$  und vorzugsweise  $\alpha = 0,95$ .  $\Phi_y$  ist die Auslenkung der transversalen Grundmode in Abhängigkeit von der transversalen Koordinate  $Y$ .

35 Bei optimaler Einkopplung des elektrischen Signals in die akustische Grundmode verschwindet die Einkopplung in höhere

## 5

Moden, da das System der transversalen Moden näherungsweise orthogonal ist.

Die akustische Spur ist erfindungsgemäß zu diesem Zweck in transversaler Richtung in einen Anregungsbereich und zwei Randbereiche aufgeteilt, wobei die longitudinale Phasengeschwindigkeit der akustischen Welle in dem jeweiligen Randbereich kleiner ist als im Anregungsbereich. Dabei ist die Wellenzahl  $k_y$  der transversalen Grundmode  $(k_y)^2 > 0$  in dem jeweiligen Randbereich und  $(k_y)^2 < 0$  im jeweiligen Außenbereich. Im Anregungsbereich ist  $k_y$  betragsmäßig wesentlich (z. B. mindestens um eine Größenordnung) kleiner als in den Randbereichen und den Außenbereichen, wobei vorzugsweise  $k_y = 0$  ist. Die in Wellenlängen gemessene Breite des jeweiligen Randbereichs in transversaler Richtung beträgt vorzugsweise im Wesentlichen  $\lambda_y/4$ , wobei  $\lambda_y$  die Wellenlänge der transversalen Grundmode im entsprechenden Randbereich ist.

Da  $k_y$  in den Randbereichen betragsmäßig wesentlich größer als in den anderen Bereichen ist, variiert die Auslenkung der transversalen Mode in transversaler Richtung in den Randbereichen entsprechend schneller. Daher läßt sich im Wellenleiter eine annähernd rechteckige Grundmode einstellen, deren Flankensteilheit von der absoluten Breite der Randspuren und letztlich von der Phasengeschwindigkeit der Welle in den Randbereichen abhängt.

Die Unterdrückung störender transversaler Wellenmoden wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß die Einkopplung eines elektrischen Signals in die transversale akustische Grundmode durch die Einführung und besondere Ausgestaltung der Randbereiche der akustischen Spur verbessert wird. Ein Bauelement mit Unterdrückung störender transversaler Wellenmoden gemäß Erfindung hat den Vorteil, daß beim Design eines solchen Bauelements die Simulation der Wellenausbreitung in nur eine Richtung (longitudinale Richtung) für eine gute Übereinstimmung der simulierten und der realen Übertragungsfunktion des

6

Bauelements ausreicht. Dabei kann auf eine aufwendige Simulation zweidimensionaler Wellenausbreitungseffekte (in longitudinaler sowie transversaler Richtung) verzichtet werden.

- 5 Die Aufteilung der akustischen Spur in einen Anregungsbereich und zwei Randspuren unterscheidet sich von der bekannten Spurunterteilung in mehrere Teilspuren dadurch, daß in den Randbereichen eines erfindungsgemäßen Bauelements keine Anregung der akustischen Welle in longitudinaler Richtung,  
10 sondern eine gezielte Verlangsamung der im Anregungsbereich angeregten Welle vorgesehen ist.

Die Randbereiche dienen erfindungsgemäß lediglich zur Einstellung der (vom Sinus abweichenden) transversalen Wellen-  
15 leiter-Grundmode durch die Vorgabe des geeigneten Geschwindigkeitsprofils des Wellenleiters. Zur Einstellung der Form der transversalen Grundmode ist es möglich, beispielsweise die Breite des Randbereichs und/oder die Phasengeschwindigkeit der Welle zu variieren.

- 20 Die Phasengeschwindigkeit der Welle läßt sich beispielsweise bei elektroakustisch hochkoppelnden piezoelektrischen Substraten mit normaler Dispersion wie z. B. Lithiumtantalat oder Lithiumniobat reziprok zum Metallisierungsverhältnis der  
25 Oberfläche des Substrats verringern. Daher ist es möglich, die Verlangsamung der Welle in den Randbereichen durch ein in Bezug auf den Anregungsbereich höheres Metallisierungsverhältnis zu erreichen. Die Randbereiche werden jeweils vorzugsweise zu 100% metallisiert, wobei der  
30 entsprechende Randbereich die Form eines durchgehenden Metallstreifens der transversalen Breite von  $\lambda_y/4$  hat..

- Bei piezoelektrischen Substraten mit normaler Dispersion und einem niedrigen elektroakustischen Kopplungsfaktor wie z. B.  
35 Quarz wird eine Verringerung der Phasengeschwindigkeit der Welle durch eine höhere Anzahl der Elektrodenfinger pro Längeneinheit in den Randbereichen erreicht. Die Laufzeit der

7

- akustische Welle in eine bestimmte Richtung hängt auch von der Anzahl der entlang der Wellenausbreitungsrichtung angeordneten Kanten der Elektrodenfinger ab, da die Welle an jeder Kante „gebremst“ wird. Demnach kann die Verlangsamung der Welle alternativ zu einer durchgehenden Metallisierung der Randbereiche z. B. durch eine größere Anzahl der Elektrodenfinger pro Längeneinheit in Randbereichen im Vergleich zum Anregungsbereich erreicht werden (Energiespeichereffekt). Die Elektrodenfinger im Randbereich sind dabei vorzugsweise auf periodischem Raster angeordnet. Das Metallisierungsverhältnis im Anregungsbereich und in den Randbereichen der akustischen Spur kann gleich oder unterschiedlich gewählt sein.
- 15 In allen bisher bekannten Methoden wird das Anregungsprofil eines Wandlers an die transversale Grundmode angepaßt. Die Idee gemäß Erfindung, die Form der transversalen Grundmode an das vorgegebene Anregungsprofil des Wandlers anzupassen, hat den Vorteil, daß damit auch in den Wandlern mit am
- 20 einfachsten ausführbaren Anregungsprofilen die Unterdrückung der störenden transversalen Wellenmoden erzielt werden kann.
- In vorteilhaften Varianten der Erfindung ist es vorgesehen, daß darüber hinaus eine zusätzliche Feinanpassung des
- 25 Anregungsprofils des Wandlers an die wie eben beschrieben festgelegte Form der transversalen Grundmode unternommen werden kann.
- Die genannte Feinanpassung kann z. B. realisiert werden,
- 30 indem der Anregungsbereich in transversaler Richtung in mehrere Teilspuren aufgeteilt wird, wobei jede Teilspur einen Teilwandler bildet. Die Teilspuren bzw. Teilwandler sind miteinander in Serie und/oder parallel geschaltet. Durch die Serienverschaltung wird der Potentialunterschied der
- 35 anregenden Elektrodenfinger und damit die Anregungsstärke in den Teilspuren reduziert. Die Teilspuren sind in der longitudinalen Richtung bis auf ihre Breite identisch

8

ausgebildet, wobei die Breite der Teilspuren so gewählt ist, daß das transversale Profil  $\Psi_y$  der Anregungsstärke im Anregungsbereich an die Form  $\Phi_y$  der transversalen Grundmode angepaßt ist.

5

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen Figuren näher erläutert. Die Figuren zeigen anhand schematischer und nicht maßstabsgetreuer Darstellungen verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung. Gleiche oder gleich wirkende Teile sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.  
Es zeigen schematisch

15      Figur 1      ein erfindungsgemäßes Bauelement (unten), die  
                 Änderung der Wellenzahl in transversaler Richtung  
                 (Mitte) und die Form der entsprechenden Grundmode  
                 (oben)

20      Figur 1a      ausschnittsweise den Aufbau des erfindungsgemäßen  
                 Bauelements

25      Figur 2      ein weiteres erfindungsgemäßes Bauelement, dessen  
                 Anregungsbereich in seriell miteinander  
                 verschaltete Teilspuren aufgeteilt ist (unten), das  
                 entsprechende transversale Anregungsprofil und die  
                 Form der transversalen Grundmode (oben)

30      Figur 3      ein weiteres erfindungsgemäßes Bauelement, dessen  
                 Anregungsbereich in seriell und parallel  
                 miteinander verschaltete Teilspuren aufgeteilt ist  
                 (unten), das entsprechende transversale  
                 Anregungsprofil und die Form der transversalen  
                 Grundmode (oben)

35      Figur 4      ein weiteres erfindungsgemäßes Bauelement mit  
                 mehreren hintereinander geschalteten akustischen  
                 Spuren (unten), die entsprechende transversale



9

Grundmode und die Änderung der Wellenzahl in transversaler Richtung (oben)

- Figur 5 Übertragungsfunktion eines Filters mit einer  
5 herkömmlich ausgebildeten akustischen Spur  
(Simulation mit und ohne Berücksichtigung des transversalen Anregungsprofils) (a) und die entsprechende Gruppenlaufzeit (b)
- 10 Figur 6 a) Übertragungsfunktion eines Filters mit einer  
erfindungsgemäß ausgebildeten akustischen Spur  
(Simulation mit und ohne Berücksichtigung des transversalen Anregungsprofils) bei einem an die Grundmode angepassten transversalen Anregungsprofil  
15 und b) die entsprechende Gruppenlaufzeit
- Figur 7 a) Auslenkung der in der akustischen Spur ausbrei-  
tungsfähigen transversalen Wellenmoden bei einem  
nicht angepassten transversalen Anregungsprofil und  
20 b) die den Moden entsprechende Anregungsstärke
- Figur 8 (a) Auslenkung der in der akustischen Spur ausbrei-  
tungsfähigen transversalen Wellenmoden bei an die Grundmode angepasstem transversalen Anregungsprofil  
25 und (b) die den Moden entsprechende Anregungsstärke

Figur 1 zeigt ein erfindungsgemäßes Bauelement mit einer akustischen Spur AS, die auf einem piezoelektrischen Substrat wie z. B. Quarz angeordnet ist und in der eine akustische  
30 Oberflächenwelle in der longitudinalen Richtung X ausbreitungsfähig ist (unten), das Quadrat der Wellenzahl  $k_y$  der transversalen Mode in Abhängigkeit von der transversalen Koordinate Y (Mitte), und die aus dem  $k_y$ -Profil resultierende transversale Grundmode  $\Phi_y$  (oben).

35

Die akustischen Spur AS ist in einen Anregungsbereich MB und zwei Randbereiche RB1 und RB2 aufgeteilt. Dabei beträgt die

10

Breite des Randbereichs in transversaler Richtung annähernd  $\lambda_y/4$ , wobei  $\lambda_y$  die Wellenlänge der transversalen Grundmode im Randbereich ist.

- 5 Das Bauelement weist zwei Elektroden E1 und E2 auf, welche jeweils eine Sammelschiene und an diese angeschlossene Elektrodenfinger umfassen. Die Elektrodenfinger unterschiedlicher Elektroden sind im Anregungsbereich alternierend angeordnet und bilden anregende Fingerpaare. Die
- 10 Elektrodenfinger in einem Randbereich gehören alle zur selben Elektrode und sind daher inaktiv, d. h. die akustische Welle wird in diesem Randbereich nicht angeregt. Die Randbereiche haben in diesem Ausführungsbeispiel eine Gitterstruktur, wobei die Periodizität des Gitters verglichen mit dem
- 15 durchschnittlichen Raster des Anregungsbereichs MB kleiner ist, wobei die im Randbereich gegenüber dem Anregungsbereich überzähligen Kanten des Elektrodenfinger-Gitters zur Verringerung der Phasengeschwindigkeit der im Randbereich induzierten akustischen Welle beitragen.

20

Das Anregungsprofil der akustischen Spur AS ist durch den Anregungsbereich definiert und ist in dieser Variante der Erfindung rechteckig.

- 25 Die akustische Spur AS und die an die akustische Spur in transversaler Richtung angrenzenden Außenbereiche AU1, AU2 bilden zusammen einen Wellenleiter. Die transversalen Wellenleitermoden werden durch einen Phasenfaktor  $e^{jk_y y}$  charakterisiert werden. Für gebundene Wellenmoden ist die trans-
- 30 versale Wellenzahl  $k_y$  reell innerhalb des Kernbereichs des Wellenleiters (d. h. Anregungsbereichs MB) und imaginär im Mantelbereich des Wellenleiters (Außenbereiche AU1, AU2).

- Betragsmäßig ist  $k_y$  im Anregungsbereich MB wesentlich kleiner
- 35 als  $k_y$  in anderen Bereichen. Bei  $k_y = 0$  (im Anregungsbereich) weist die Grundmode ein Plateau in diesem Bereich auf, d. h.

11

die Auslenkung der Welle im Anregungsbereich ist in transversaler Richtung  $Y$  konstant.

- In den Außenbereichen AU1, AU2, die außerhalb der akustischen Spur AS liegen und in transversaler Richtung an diese angrenzen, ist  $k_y$  imaginär bzw.  $(k_y)^2 < 0$ . Daher fällt die Amplitude der Welle in den Außenbereichen AU1, AU2 in transversaler Richtung exponentiell ab.
- 10 Die transversale Wellenzahl  $k_y$  ist im jeweiligen Randbereich RB1, RB2 reell bzw.  $(k_y)^2 > 0$ . Dort findet ein Übergang von der maximalen Amplitude im Anregungsbereich auf einen Bruchteil der Amplitude an der Grenze zum Außenbereich statt.
- 15 Durch die wie oben beschrieben ausgewählte Breite des Randbereichs wird die Form der transversalen Grundmode festgelegt, bei der die Amplitude der Welle in den Außenbereichen exponentiell nach außen abfällt und bei der sich in den Randbereichen in transversaler Richtung eine
- 20 stehende Welle bildet, wobei der Bauch der stehenden Welle am Rand des Anregungsbereichs und des Randbereichs bzw. der Knoten der stehenden Welle an der Grenze zum Außenbereich liegt. Dadurch ist die Form der Grundmode maximal an die Form des rechteckigen Anregungsprofils der akustischen Spur AS
- 25 angepaßt.

- Der Wert der Wellenlänge  $\lambda_y$  im Randbereich hängt von der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle in longitudinaler Richtung ab, die wiederum vom Raster des Elektrodenfinger-
- 30 Gitters im Randbereich abhängt. Die absolute Breite des Randbereichs kann (je nach dem vorgegebenen Wert von  $\lambda_y$ ) unterschiedlich gewählt werden. Die in Wellenlängen gemessene Breite des Randbereichs beträgt dabei stets  $\lambda_y/4$ . Durch die Änderung der absoluten Breite des Randbereichs läßt sich die
- 35 Steilheit der entsprechenden Flanke der Grundmode einstellen.

12

Je größer die Wellenzahl  $k_y$  im Randbereich ist, desto kleiner ist die entsprechende Wellenlänge und folglich die absolute Breite des Randbereichs. Bei großen  $k_y$ -Werten erhöht sich entsprechend die Steilheit der Flanken der transversalen Grundmode.

In Figur 1a ist ausschnittsweise ein erfindungsgemäßes Bauelement gezeigt, das als rekursiver Wandler ausgebildet ist.

Möglich ist es aber auch, den Anregungsbereich des Bauelements in longitudinaler Richtung zumindest teilweise wie bei einem an sich bekannten Normalfingerwandler mit auf periodischem Raster angeordneten Interdigitalfingern oder wie bei einem an sich bekannten Splitfingerwandler auszubilden.

In einer weiteren Variante der Erfindung, insbesondere bei piezoelektrischen Substraten mit einer hohen elektroakustischen Kopplung, z. B. Lithiumniobat oder Lithiumtantalat, bei denen der Kurzschluß an der vollmetallisierten Oberfläche zu einer deutlichen Absenkung der Phasengeschwindigkeit führt, können die Randbereiche alternativ als durchgehend metallisierte Bereiche der transversalen Breite  $\lambda_y/4$  ausgebildet werden.

In der Praxis gelingt es nicht, durch die Einführung der Randbereiche eine perfekt rechteckige transversale Grundmode zu erreichen, da die absolute Breite der Randbereiche nicht beliebig klein gewählt werden kann. Deshalb ist in weiteren Varianten der Erfindung eine Feinanpassung des transversalen Anregungsprofils des Wandlers an die transversale Grundmode, z. B. durch Aufteilung des Anregungsbereichs in mehrere Teilspuren, vorgesehen. Eine derartige Feinanpassung ist nur in einem sehr engen Frequenzbereich möglich, da die Form der Grundmode frequenzabhängig ist.

Figur 2 zeigt eine Weiterbildung der Erfindung, bei der der Anregungsbereich MB der akustischen Spur AS in transversaler Richtung in vier Teilspuren TB1, TB2, TB3 und T4 aufgeteilt ist. Die Teilspuren sind elektrisch in Serie geschaltet.

5

In Figuren 2, 3 ist unten ein Teil der akustischen Spur AS und oben das entsprechende Anregungsprofil  $\Psi_y$  des Anregungsbereichs sowie die Form der transversalen Grundmode  $\Phi_y$  schematisch gezeigt.

10

Alle Teilspuren eines derart aufgeteilten Anregungsbereichs sind in longitudinaler Richtung identisch ausgebildet, wobei die Breiten der Teilspuren vorzugsweise unterschiedlich gewählt werden. Die Teilspur mit der Nummer i hat eine Breite  $b_i$ .

15

Der Spannungsunterschied zwischen den Elektroden E1 und E2 beträgt U. Die Anregungsstärke eines Elektrodenfinger-Paares in einer Teilspur ist proportional zum Spannungsunterschied  $U_i$  zwischen den Elektrodenfingern.  $U_i$  hängt umgekehrt proportional von der Kapazität der Teilspur ab, die wiederum direkt proportional zur Breite  $b_i$  der Teilspur ist. Es gilt

20

$$U_i = \frac{b_i^{-1}}{\sum_k b_k^{-1}} U.$$

25

Daher kann man die Anregungsstärke in einer Teilspur i durch die Veränderung ihrer Breite gezielt einstellen bzw. gewichten. Bei einer seriellen Verschaltung der Teilspuren ist die Impedanz der akustischen Spur AS mit einem aufgeteilten Anregungsbereich entsprechend größer als die Impedanz einer akustischen Spur mit einem nicht aufgeteilten Anregungsbereich.

30

Um die Impedanz der in Teilspuren aufgeteilten akustischen Spur beizubehalten, ist es möglich, einige der Teilspuren miteinander seriell und diese Serienschaltung mit einer weiteren Teilspur oder mehreren Teilspuren parallel zu verschal-

35

ten, siehe z. B. das in Figur 3 vorgestellte Ausführungs-  
beispiel.

- Der Anregungsbereich MB ist in folgende Teilspuren
- 5 aufgeteilt: eine mittlere Teilspur MT und zwei Rand-  
Teilspuren RT1, RT2. Die Rand-Teilspuren RT1, RT2 sind  
miteinander in Serie geschaltet, wobei die Serienschaltung  
von den Teilspuren RT1 und RT2 parallel zur mittleren  
Teilspur MT geschaltet ist. Die Breite der mittleren Teilspur  
10 MT ist wesentlich - vorzugsweise um mindestens Faktor 5 -  
größer als die Breite der jeweiligen Rand-Teilspur RT1, RT2  
ist. Die Impedanz der akustischen Spur AS ist im wesentlichen  
durch die Impedanz der breiter ausgebildeten Teilspur MT  
bestimmt. Die Verringerung der Anregungsstärke in der  
15 jeweiligen Rand-Teilspur RT1 bzw. RT2 gegenüber der mittleren  
Teilspur MT, an welcher die Spannung U anliegt, wird durch  
die Teilung der angelegten Spannung U zwischen den seriell  
verschalteten Rand-Teilspuren RT1 und RT2 erzielt.
- 20 In Figur 4 ist eine weitere Variante der Erfindung schema-  
tisch gezeigt. Figur 4 zeigt ausschnittsweise ein erfindungs-  
gemäßes Bauelement (unten), die entsprechende transversale  
Grundmode und das Quadrat der transversalen Wellenzahl in  
Abhängigkeit von der transversalen Koordinate (oben).
- 25 In dieser Variante ist eine weitere akustische Spur AS' vor-  
gesehen, die - ähnlich wie die akustische Spur AS - in einen  
Anregungsbereich MB' und Randbereiche RB1', RB2' aufgeteilt  
und im Wesentlichen gleich aufgebaut ist wie die akustische  
30 Spur AS. In diesem Ausführungsbeispiel sind die akustischen  
Spuren AS und AS' elektrisch miteinander in Serie geschaltet,  
wobei sie in transversaler Richtung parallel zueinander  
angeordnet sind. Zwischen den akustischen Spuren AS und AS'  
ist ein Zwischenbereich ZB angeordnet. Die Breiten der Rand-  
35 bereiche RB1, RB2 und RB1', RB2' der akustischen Spuren AS  
bzw. AS' sind so gewählt, daß im Zwischenbereich ZB  $k_y$   
betragsmäßig wesentlich (z. B. um mindestens eine Größen-

15

ordnung) kleiner als in den Randbereichen RB1, RB2 und den Außenbereichen AU1, AU2 ist. Die Phasengeschwindigkeit in den Anregungsbereichen MB, MB' verschiedener akustischer Spuren AS, AS' und im Zwischenbereich ZB ist im Wesentlichen gleich  
5 groß, da sonst die Plateaus der transversalen Grundmode in beiden Anregungsbereichen nicht erzielt werden können.

Es ist möglich, die parallel angeordneten akustischen Spuren auch parallel miteinander zu verschalten. Möglich ist auch,  
10 bei mehr als zwei parallel angeordneten akustischen Spuren eine serielle und eine parallele Verschaltung der Spuren zu kombinieren.

Bei jeder weiteren akustischen Spur eines mehrspurig  
15 ausgebildeten Bauelements sind die Randbereiche mit  $(k_y)^2 > 0$  vorgesehen, in denen die akustische Welle zwar nicht angeregt wird, aber die im entsprechenden Anregungsbereich angeregte Welle in longitudinaler Richtung ausbreitungsfähig ist. Zwischen zwei akustischen Spuren ist jeweils ein Zwischen-  
20 bereich mit einem betragsmäßig kleinen  $k_y$  vorgesehen. In den Zwischenbereichen erfolgt keine Anregung der akustischen Welle. Jeder Zwischenbereich ist vorzugsweise als Gitter ausgebildet, wobei die Anzahl der Elektrodenfinger pro Längeneinheit in allen Anregungsbereichen und in allen  
25 Zwischenbereichen und das Metallisierungsverhältnis der Oberfläche in diesen Bereichen vorzugsweise gleich groß ist. Die Elektrodenfinger im Zwischenbereich ZB sind vorzugsweise auf periodischem Raster angeordnet. Dabei können die Elektrodenfinger in den Anregungsbereichen auch periodisch angeord-  
30 net sein oder unidirektional abstrahlende Zellen bilden.

Die Form der transversalen Grundmode mit einer annähernd konstanten Auslenkung in den Bereichen, die den Anregungsbereichen entsprechen, und der verschwindenden Auslenkung in  
35 den Zwischenbereichen läßt sich durch die geeignete Auswahl der absoluten Breiten der Randbereiche einstellen, wobei die in Wellenlängen gemessene Breite eines Randbereichs stets

16

eine Viertelwellenlänge beträgt. Auf diese Weise wird die Form der transversalen Grundmode dem Anregungsprofil einer mehrspurigen Anordnung angepaßt.

- 5 In Figur 5 ist a) die simulierte Übertragungsfunktion eines Filters mit einer akustischen Spur mit einem rechteckigen transversalen Anregungsprofil, die keine Randbereiche aufweist (d. h. das transversale Anregungsprofil ist an die Form der transversalen Grundmode nicht angepaßt), und b) der  
10 entsprechende Frequenzverlauf der Gruppenlaufzeit gezeigt.

Die Kurven 1 und 1' entsprechen einer 1D Simulation der Übertragungsfunktion (1) bzw. der Gruppenlaufzeit (1'), d. h. einer Simulation ohne Berücksichtigung der Wellenausbreitung in  
15 transversaler Richtung. Die Kurven 2 und 2' entsprechen einer 2D Simulation der Übertragungsfunktion (2) bzw. der Gruppenlaufzeit (2'), d. h. einer Simulation mit Berücksichtigung der Wellenausbreitung in transversaler Richtung. Die 2D Simulation entspricht einem realen Verhalten des Filters.

20 Sowohl die reale Übertragungsfunktion 2 als auch die reale Gruppenlaufzeit 2' weisen im Durchlaßbereich jeweils Abweichungen vom 1D Verhalten (Kurven 1 und 1'), die sich als unerwünschte Welligkeit des Durchlaßbereichs zeigt. An der  
25 rechten Flanke der Übertragungsfunktion 2 finden sich zusätzliche Nebenmaxima in der Amplitude.

Die Ursache für die Nebenmaxima sind höhere transversale Wellenmoden, deren Phasenfaktoren in Abhängigkeit von der  
30 transversalen Koordinate - Kurven 11, 12, 13 - in Figur 7 oben und deren relative Intensitäten in Figur 7 unten schematisch gezeigt sind.

Die transversale Mode mit der Ordnungszahl 1 ist die transversale Grundmode, die bei einer herkömmlich (mit einem Anregungsbereich ohne Randbereiche) ausgebildeten akustischen  
35 Spur sinusförmig ist, siehe Kurve 11 in Figur 7. Die relative



17

Intensität der ersten transversalen Mode beträgt ca. 90%.  
Darüber hinaus werden in einer derart ausgebildeten akustischen Spur weitere transversale Wellenmoden mit ungerader Ordnungszahl angeregt. Eine stehende akustische Welle, die  
5 der zweiten transversalen Wellenmode (Kurve 12) entspricht, kann wegen Symmetriebedingungen nicht angeregt werden.

Die relative Intensität der dritten transversalen Wellenmode (der zweiten Harmonischen der Grundmode, siehe Kurve 13 in  
10 Figur 7) beträgt hier ca. 9% und die relative Intensität der in Figur 7 nicht dargestellten fünften Wellenmode ca. 1%.

Die Einkopplung des elektrischen Signals in die 3. und 5. transversale Moden kommt deswegen zustande, da das transversale Anregungsprofil der akustischen Spur rechteckig ist,  
15 während die Form der transversalen Mode sinusförmig ist. Diese Moden führen zu unerwünschten Resonanzen oberhalb des Durchlaßbereichs des Filters, welche die Filterqualität (u. a. auch die Einfügedämpfung im Durchlaßbereich)  
20 verschlechtern.

Bei erfindungsgemäß aneinander angeglichenen Anregungsprofil und der Form der transversalen Grundmode werden die höheren transversalen Wellenmoden nicht angeregt.  
25

Figur 6 zeigt die Simulation der Übertragungsfunktion eines Filters mit einer erfindungsgemäß ausgebildeten akustischen Spur gemäß Figur 1a (a) mit und ohne Berücksichtigung des transversalen Anregungsprofils sowie die entsprechende  
30 Gruppenlaufzeit in Abhängigkeit von der Frequenz (b). Die Kurven 3 und 3' beziehen sich auf eine 2D Simulation des erfindungsgemäßen Filters.

Die Form der Grundmode in einer solchen akustischen Spur ist  
35 annähernd rechteckig und daher an das Anregungsprofil angepaßt.

18

- Die Phasenfaktoren der transversalen Wellenleiter-Moden, die in der gemäß Figur 1a ausgebildeten akustischen Spur anregbar bzw. ausbreitungsfähig sind, sind in Figur 8 oben und die relativen Intensitäten der Moden in Figur 8 unten gezeigt. Der
- 5 Phasenfaktor der ersten, zweiten und dritten transversalen Mode entspricht der Kurve 11', 12' und 13'. Die relative Intensität der höheren transversalen Moden ist im Vergleich zur Intensität der transversalen Grundmode sehr gering.
- 10 Die Kurven 14 und 14' in Figuren 7 und 8 geben das Geschwindigkeitsprofil eines der jeweiligen akustischen Spur entsprechenden Wellenleiters wieder, wobei die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle in longitudinaler Richtung gemeint ist. In
- 15 Figur 8 ist gezeigt, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle in den Randbereichen der erfindungsgemäßen akustischen Spur kleiner als in anderen Bereichen des Wellenleiters ist.

- Die Erfindung kann grundsätzlich in allen an sich bekannten SAW-Bauelementen, z. B. Double Mode SAW Filter, Normalfinger-
- 20 wandler, rekursive Filter, eingesetzt werden und ist nicht auf die Anzahl der in Figuren dargestellten Elemente oder auf bestimmte Frequenzbereiche beschränkt.

## Patentansprüche

1. Mit akustischen Oberflächenwellen arbeitender Wandler,  
enthaltend:
  - 5 eine akustische Spur (AS), die ineinander greifende Elektrodenfinger verschiedener Elektroden (E1, E2) aufweist,  
wobei in der akustischen Spur (AS) eine akustische Welle anregbar ist, die durch eine transversale Grundmode  
10 charakterisiert ist,  
wobei die akustische Spur (AS) in transversaler Richtung (Y) in einen Anregungsbereich (MB) und zwei Randbereiche (RB1, RB2) aufgeteilt ist,  
wobei die longitudinale Phasengeschwindigkeit der  
15 akustischen Welle in dem jeweiligen Randbereich (RB1, RB2) kleiner ist als im Anregungsbereich (MB),  
wobei für die Wellenzahl  $k_y$  der transversalen Grundmode gilt:  
 $(k_y)^2 > 0$  in dem jeweiligen Randbereich (RB1, RB2) und  
20  $(k_y)^2 < 0$  in einem Außenbereich (AU1, AU2) außerhalb der akustischen Spur (AS),  
wobei im Anregungsbereich (MB)  $k_y$  betragsmäßig um mindestens eine Größenordnung kleiner als in den Randbereichen (RB1, RB2) und den Außenbereichen (AU1,  
25 AU2) ist.
2. Wandler nach Anspruch 1,  
bei dem im Anregungsbereich (MB)  $k_y = 0$ .
- 30 3. Wandler nach Anspruch 1 oder 2,  
bei dem der Anregungsbereich (MB) in transversaler Richtung (Y) in mehrere Teilspuren (TB1, TB2, TB3, TB4) aufgeteilt ist, die Teilwandlern entsprechen, die miteinander in Serie und/oder parallel geschaltet sind.  
35
4. Wandler nach Anspruch 3,  
wobei die Teilspuren in longitudinaler Richtung (X) bis

20

auf ihre Breite identisch ausgebildet sind,  
wobei die Breite der Teilspuren so gewählt ist, daß das  
transversale Profil  $\Psi_y$  der Anregungsstärke im  
Anregungsbereich (MB) an die Form  $\Phi_y$  der transversalen  
Grundmode angepaßt ist.

5. Wandler nach Anspruch 3 oder 4,  
bei dem für die Anpassung des transversalen Profils  $\Psi_y$  der  
Anregungsstärke an die Form  $\Phi_y$  der transversalen Grundmode  
gilt:  $\int \Psi_y \Phi_y dy / \sqrt{\int \Psi_y^2 dy \cdot \int \Phi_y^2 dy} \geq 0,9$ .

6. Wandler nach einem der Ansprüche 3 bis 5,  
bei dem die Teilspuren eine mittlere Teilspur (MT) und  
zwei Rand-Teilspuren (RT1, RT2) aufweisen,  
wobei die Rand-Teilspuren (RT1, RT2) miteinander in Serie  
geschaltet sind und eine Serienschaltung bilden,  
wobei die Serienschaltung parallel zur mittleren Teilspur  
(MT) geschaltet ist,  
wobei die Breite der mittleren Teilspur (MT) um  
mindestens Faktor 5 größer als die Breite der jeweiligen  
Rand-Teilspur (RT1, RT2) ist.

7. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
bei dem die Randbereiche (RB1, RB2) jeweils als ein in  
longitudinaler Richtung durchgehender Metallstreifen der  
transversalen Breite  $\lambda_y/4$  ausgebildet sind.

8. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
bei dem die Anzahl der Elektrodenfinger pro Längeneinheit  
in den Randbereichen (RB1, RB2) jeweils größer ist als im  
Anregungsbereich (MB).

9. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
bei dem die Elektrodenfinger verschiedener Elektroden  
(E1, E2) im Anregungsbereich (MB) auf periodischem Raster  
angeordnet sind.

10. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
bei dem der Anregungsbereich (MB) in longitudinaler  
Richtung in unidirektional abstrahlende oder  
reflektierende Zellen aufgeteilt ist,  
5 wobei mehrere in longitudinaler Richtung nebeneinander  
angeordnete Elektrodenfinger im Anregungsbereich (MB)  
eine Zelle mit Abstrahlung der akustischen Welle in eine  
bevorzugte Richtung oder eine Zelle mit reflektierender  
Wirkung bilden.

10

11. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
bei dem neben der ersten genannten akustischen Spur (AS)  
zumindest eine weitere akustische Spur (AS') vorgesehen  
ist, die in einen Anregungsbereich (MB') und Randbereiche  
15 (RB1', RB2') aufgeteilt ist und im Wesentlichen gleich  
aufgebaut ist wie die erste akustische Spur (AS),  
wobei die akustischen Spuren (AS, AS') parallel  
zueinander angeordnet sind,  
wobei zwischen zwei akustischen Spuren ein  
20 Zwischenbereich (ZB) angeordnet ist,  
wobei die Breiten der Randbereiche (RB1, RB2, RB1', RB2')  
der akustischen Spuren (AS, AS') so gewählt sind, daß im  
Zwischenbereich (ZB) die Wellenzahl  $k_y$  betragsmäßig um  
mindestens eine Größenordnung kleiner als in den  
25 Randbereichen (RB1, RB2) und den Außenbereichen (AU1,  
AU2) ist,  
wobei die Phasengeschwindigkeit in den Anregungsbereichen  
(MB, MB') verschiedener akustischer Spuren (AS, AS') und  
im Zwischenbereich (ZB) im Wesentlichen gleich groß ist.

30

12. Wandler nach Anspruch 11,  
bei dem die Anzahl der Elektrodenfinger pro Längeneinheit  
im Zwischenbereich (ZB) im Wesentlichen gleich der Anzahl  
der Elektrodenfinger pro Längeneinheit in den  
35 Anregungsbereichen (MB, MB') verschiedener akustischer  
Spuren (AS, AS') ist.

13.Wandler nach Anspruch 12,  
bei dem die Elektrodenfinger im Zwischenbereich (ZB) auf  
periodischem Raster angeordnet sind.

- 5 14.Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
wobei die Breite des jeweiligen Randbereichs (RB1, RB2)  
in transversaler Richtung im Wesentlichen  $\lambda_y/4$  ist,  
wobei  $\lambda_y$  die Wellenlänge der transversalen Grundmode im  
jeweiligen Randbereich (RB1, RB2) ist.

10

15.Filter mit zumindest einem Wandler nach Anspruch 1 bis  
14.

## Zusammenfassung

Mit akustischen Wellen arbeitender Wandler mit Unterdrückung transversaler Moden

5

Die Erfindung betrifft einen mit akustischen Oberflächenwellen arbeitenden Wandler, bei dem störende transversale Moden unterdrückt werden. Dies wird durch die gegenseitige Anpassung des transversalen Anregungsprofils der akustischen Welle und der transversalen Grundmode des durch die akustische Spur und anliegende Außenbereiche gebildeten Wellenleiters aneinander erzielt. Diese Anpassung erfolgt durch Aufteilung der akustischen Spur in einen Anregungsbereich und Randbereiche, wobei die Breite des jeweiligen Randbereichs ungefähr eine Viertelwellenlänge der transversalen Grundmode ist und wobei die Wellenzahl der transversalen Grundmode im Anregungsbereich gleich Null ist. In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung kann - durch Aufteilung des Anregungsbereichs in transversaler Richtung in miteinander seriell und/oder parallel verschaltete Teilspuren - eine von der transversalen Koordinate abhängige Anregungsstärke erzielt werden, die der Grundmode optimal angepaßt ist.

25

Figur 1

## Bezugszeichenliste

	AS	akustische Spur
	MB	Anregungsbereich
5	RB1, RB2	Randbereich
	E1, E2	Elektrode
	Y	transversale Richtung
	X	longitudinale Richtung
	AZ1	anregende Zelle
10	RZ1 - RZ3	reflektierende Zelle
	AU1, AU2	Außenbereiche des Wellenleiters
	TB1 - TB2	Teilspuren
	MT	mittlere Teilspur
	RT1	Rand-Teilspur
15	AS'	weitere akustische Spur
	MB'	Anregungsbereich der weiteren akustischen Spur
	RB1', RB2'	Randbereich der weiteren akustischen Spur
	ZB	Zwischenbereich
	1	Amplitude (Simulation ohne Berücksichtigung der transversalen Effekte)
20	2	Amplitude Simulation mit Berücksichtigung der transversalen Effekte bei nicht angepaßtem transversalem Anregungsprofil)
	1'	Gruppenlaufzeit (Simulation ohne Berücksichtigung der transversalen Effekte)
25	2'	Gruppenlaufzeit (Simulation mit Berücksichtigung der transversalen Effekte bei nicht angepaßtem transversalem Anregungsprofil)
	3	Amplitude (Simulation mit Berücksichtigung der transversalen Effekte beim angepaßten transversalen Anregungsprofil)
30	3'	Gruppenlaufzeit (Simulation mit Berücksichtigung der transversalen Effekte beim angepaßten transversalen Anregungsprofil)
35	11	Phasenfaktor der transversalen Grundmode in Abhängigkeit von der transversalen Koordinate (beim nicht angepaßten transversalen Anregungsprofil)



25

- 12            Phasenfaktor der ersten Harmonischen der  
             transversalen Grundmode (beim nicht angepaßten  
             transversalen Anregungsprofil)
- 13            Phasenfaktor der zweiten Harmonischen transversalen  
5            Grundmode (beim nicht angepaßten transversalen  
             Anregungsprofil)
- 11'           Phasenfaktor der transversalen Grundmode in  
             Abhängigkeit von der transversalen Koordinate (beim  
             angepaßten transversalen Anregungsprofil)
- 10 12'        Phasenfaktor der ersten Harmonischen der  
             transversalen Grundmode (beim angepaßten  
             transversalen Anregungsprofil)
- 13'           Phasenfaktor der zweiten Harmonischen transversalen  
             Grundmode (beim angepaßten transversalen  
             Anregungsprofil)
- 15            Geschwindigkeitsprofil des Wellenleiters, dessen  
14            Grundmode an das Anregungsprofil nicht angepaßt ist
- 14'           Geschwindigkeitsprofil des Wellenleiters, dessen  
             Grundmode an das Anregungsprofil angepaßt ist